

Анотація. У роботі наведено характеристики пробіотиків і пребіотиків, розглянуто питання створення функціональних продуктів із синбіотичним комплексом; дано характеристику нормальної мікрофлори кишечника, показано перспективи застосування іммобілізованих форм біфідобактерій і лактулози в технології кондитерських виробів. Вивчено вплив синбіотичної добавки на структурно-механічні властивості збивних мас, зокрема, на ефективну в'язкість, граничну напругу зсуву, адгезійну міцність.

Ключові слова: пробіотики, пребіотики, синбіотики, іммобілізовані мікроорганізми, зефір, структурно-механічні властивості.

Аннотация. В работе приведена характеристика пробиотиков и пребиотиков, рассмотрены вопросы создания функциональных продуктов с синбиотическим комплексом; дана характеристика нормальной микрофлоры кишечника, показаны перспективы применения иммобилизованных форм бифидобактерий и лактулозы в технологии кондитерских изделий. Изучено влияние синбиотической добавки на структурно-механические свойства збивных масс, в частности, на эффективную вязкость, предельное напряжение сдвига, адгезионную прочность.

Ключевые слова: пробиотики, пребиотики, синбиотики, иммобилизованные микроорганизмы, зефир, структурно-механические свойства.

ЗМІНА СТРУКТУРНО-РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗЕФІРУ З СИНБІОТИЧНИМ КОМПЛЕКСОМ

Г. В. Коркач

кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: kor2007@ukr.net

С. М. Павловський

кандидат технічних наук, доцент

*кафедра технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчо концентратів»

Одеська національна академія харчових

технологій

м. Одеса, вул. Канатна, 112, 65039

І. О. Боровик

магістрант

Одеська національна академія харчових

технологій

м. Одеса, вул. Канатна, 112, 65039

E-mail: irochka-borovik@mail.ru

Вступ

Основними завданнями кондитерської промисловості є розроблення високоефективної техніки і перспективної технології, розширення вітчизняної сировинної бази та створення кондитерських виробів функціонального призначення. Виробництво функціональних кондитерських виробів в Україні та за кордоном динамічно розвивається, що пов'язано зі створенням наприкінці ХХ століття індустрії широко рекламованого здорового харчування. Одним із напрямів державної політики України є створення технологій виробництва продуктів лікувально-профілактичного призначення для попередження різних захворювань і зміцнення захисних функцій організму.

Постановка проблеми

Основою для створення функціональних кондитерських продуктів можуть бути пастильні вироби. Місткість ринку пастильно-мармеладних виробів збільшується і в 2013 році становила 84,11 тис. т. Особливим попитом у населення користується зефір. На його частку припадає 32,84 тис. т, що становить приблизно 40 % від випуску виробів пастильно-мармеладної категорії. У своєму складі він містить білок, пектин, які є не тільки технологічно необхідними компонентами, а й корисними функціональними інгредієнтами. Зефір належить до числа кондитерських виробів, рекомендованих для харчування дітей у дошкільних та шкільних закладах. Це пояснюється

рядом особливостей, які визначають цінність даної групи виробів: значною часткою повітряної фази і високим ступенем її дисперсності, що дозволяє утворювати структури з високими смаковими якостями і засвоюваністю; високим вмістом пектину, який має здатність виводити з організму людини холестерин, важкі метали, радіонукліди, поліпшити обмін речовин.

Недолік зефіру та інших кондитерських виробів – наявність в їхньому складі цукру, незначний вміст у них найважливіших мікронутрієнтів (вітамінів, макро- і мікроелементів). Вирішення цієї проблеми пов'язано з впровадженням у структуру харчування населення функціональних продуктів, які у своєму складі містять функціональні інгредієнти, що заповнюють дефіцит незамінних харчових речовин і виступають як інструмент захисту організму від негативно-біологічного та техногенного впливу навколишнього середовища. До функціональних інгредієнтів належать харчові волокна, мінеральні речовини, вітаміни, омега-3 жирні кислоти, олігосахариди (як субстрат для корисних бактерій), а також група, що включає мікроелементи, біфідобактерії.

У зв'язку з цим в даний час актуальним є питання розробки пастильних виробів функціонального призначення на основі синбіотиків. За даними вчених, різні форми дисбактеріозу зустрічаються у 85...90 % населення України. Профілактика і лікування дисбактеріозів спрямовані передусім на відновлення нормальної мікрофлори кишечника. Найбільш простим і вивченим прийомом є введення бактерій-пробіотиків у раціон харчування. Основними представниками

пробіотичних мікроорганізмів є біфідобактерії, які складають до 90 % нормальної мікрофлори кишечника. На сьогоднішній день на ринку існує достатня кількість функціональних продуктів, які містять пробіотичні культури. Насамперед до них належать кисломолочні напої, термін придатності яких, на жаль, в більшості не перевищує 1 місяця. Але в Україні практично не виробляються функціональні кондитерські вироби, які б позитивно впливали на мікрофлору кишечника людини.

Літературний огляд

Численні дослідження присвячено вивченню пробіотичних властивостей біфідобактерій [1-5]. Біфідофлора займає до 90 % від усієї нормальної мікрофлори кишечника здорової людини, локалізуючись у товстому кишечнику. Біфідобактерії виконують ряд найважливіших функцій. Насамперед вони здійснюють фізіологічний захист від проникнення мікробів і токсинів у внутрішнє середовище організму за рахунок асоціації зі слизовою оболонкою кишечника і високої антагоністичної активності щодо патогенних і умовно патогенних мікроорганізмів. Біфідобактерії синтезують амінокислоти і білки, вітамін К, пантотенову кислоту, вітаміни групи В, беруть участь в утилізації харчових субстратів та активізації пристінкового травлення, що сприяє посиленню процесів всмоктування через стінки кишечника іонів кальцію, заліза, вітаміну D. Крім того, біфідофлора має імуномодулюючу дію: регулює функції гуморального і клітинного імунітету, перешкоджає деградації секреторного імуноглобуліну А, стимулює утворення інтерферону і виробляє лізоцим.

Останнім часом все більша роль у корекції й активізації нормальної мікрофлори кишечника людини і тварин відводиться пробіотикам [6]. Пробіотики – це речовини, які не гідролізуються і не всмоктуються у верхній частині шлунково-кишкового тракту, але є субстратом для корисних бактерій, що мешкають у товстому кишечнику. Вони стимулюють ріст біфідобактерій. Пробіотики регулюють кишкову мікрофлору та індують корисні ефекти не лише на рівні шлунково-кишкового тракту, але й організму в цілому [7, 8].

Біфідус-фактором № 1 у світі вважається лактулоза – дисахарид, що отримується з молочного цукру – лактози, яка, в свою чергу, виділяється з молочної сироватки. Лактулоза поряд з пробіотичними властивостями володіє також:

- гіпохолестеринемічними властивостями, тобто скорочує вміст холестерину в крові, зменшуючи ризик атеросклерозу;
- істотно збільшує всмоктуваність кальцію, що важливо як для профілактики рахіту, так і при лікуванні остеопорозу;
- забезпечує протипухлинний захист кишечника, тобто має канцерогенну дію.

Крім того, стимулює загальний імунітет організму, сприяє скороченню популяції патогенної мікрофлори, оберігає від atopічних дерматитів, перешкоджає утворенню жовчних каменів [9, 10].

Лактулоза може використовуватися як самостійно, так і в комплексі з пробіотиками для пролонгування їхньої дії. Спільне введення пребіотиків і пробіотиків до складу харчових продуктів значно посилює їхню ефективність. Функціональні харчові інгредієнти, що являють собою комбінації пробіотиків і пребіотиків і справляють синергічний ефект на фізіологічні функції і метаболічні реакції організму людини, називають синбіотиками. Підвищений фізіологічний ефект синбіотиків обумовлений тим, що в присутності пребіотиків корисні бактерії розвиваються в 1,5...2 рази швидше.

Основна частина

Перспективним об'єктом для введення пробіотиків є кондитерські вироби, зокрема зефір. Пробіотики доцільно вводити на стадії збивання зефірної маси. Однак, температура агаро-цукрово-патокового сиропу, який безперервно дозується в цукрово-яблучно-пектинову суміш, має температуру 80 °С. Одержана зефірна маса має температуру 50...53 °С. При цьому температура, яка перевищує 46,5 °С, може призвести до загибелі значної кількості біфідобактерій. Тому для збереження кількості життєздатних мікроорганізмів у складі зефіру необхідно використовувати способи «захисту» бактерій від впливу температури та механічної дії.

Важливо зберегти пробіотичні організми в продукті на рівні, який забезпечив би йому функціональні властивості протягом усього терміну придатності. Згідно з рекомендаціями Міжнародної молочної федерації, кількість життєздатних біфідобактерій у функціональному продукті повинна бути не менше 10^7 КУО/г на кінець терміну придатності.

У зв'язку з тим, що внесення культури біфідобактерій в зефірну масу призводить до загибелі мікроорганізмів, нами був обґрунтований метод іммобілізації [11].

У звичайних пероральних препаратах пробіотиків виживаність мікроорганізмів становить 2...5 і менше відсотків [12]. Збільшити цей показник можна, оточивши мікроорганізми захисною оболонкою в ході процесу іммобілізації. В нашій роботі використано два методи іммобілізації: включення в гель і мікрокапсулювання. Внаслідок отримано мікрокапсульовані біфідобактерії сферичної форми, розмір яких становить від 5 до 38 мкм. Також експериментально визначили кількість мікрокапсульованих форм біфідобактерій у складі зефіру, яка склала 6×10^7 КУО/г.

Дуже важливо зберегти пробіотичні мікроорганізми в продукті на рівні, який забезпечив би йому функціональні властивості протягом усього терміну зберігання. Провівши дослідження з ви-

вчення стабільності мікрокапсульованих біфідобактерій у складі зефіру на кінець терміну придатності, виявили, що вміст інкапсульованих мікроорганізмів у зефірі на момент приготування склав 6×10^7 КУО/г, а після закінчення терміну зберігання – 3×10^7 КУО/г.

Нами розроблено синбіотичний комплекс на основі іммобілізованих біфідобактерій *Bifidobacterium bifidum* і пребіотика – лактулози. Цей синбіотик вводили в рецептуру зефіру. Як контрольний зразок було взято рецептуру зефіру «Біло-рожевий».

Об'єктом дослідження був зефір з добавками лактулози та іммобілізованих форм пробіотиків, зокрема *Bifidobacterium bifidum*. Зефір належить до збивних кондитерських мас і має надзвичайно ніжну, що тане в роті, текстуру, яка формується за рахунок значного вмісту повітряної фази і рівномірної пористості виробу. Піноподібні кондитерські маси, зокрема зефір, – це висококонцентровані системи з просторовою піноподібною структурою. Через сильно розвинену поверхню поділу фаз піни є термодинамічно нестійкими системами і прагнуть до мимовільного руйнування структури. У збивних кондитерських масах рідкі плівки, що розділяють бульбашки газу, утворюють в сукупності цукрово-білково-фруктовий золь, здатний переходити в гель. Завдяки механічним властивостям адсорбційної плівки структура піноподібних кондитерських виробів може зберігатися тривалий час. Якість виробів піноподібною структурою обумовлюється рецептурними факторами – присутністю і співвідношенням різних видів сировини, концентрацією піноутворювача і його природою, загальною концентрацією сухих речовин у рецептурній суміші і технологічними параметрами: температурою, тривалістю збивання, а також способом отримання маси, рН середовища та іншими факторами [13].

Метою роботи є дослідження зміни структурно-механічних властивостей зефіру на основі синбіотичного комплексу. При розробленні рецептури нового виду зефіру з використанням синбіотиків прагнули зберегти основні характеристики контрольного зразка – зефіру «Біло-рожевий». Збивання рецептурної суміші проводили на експериментальній установці диспергаційним способом. Приготування зефірної маси в лабораторних умовах проводилося за традиційною технологією з наступними змінами: при виробництві зефіру з добавками внесення лактулози та іммобілізованих біфідобактерій проводилось на стадії збивання рецептурної суміші з одночасним додаванням барвних, смакових та ароматичних речовин у збивальну машину при температурі 30...36 °С та збиванні протягом 3...5 хв. Після цього додавали цукрово-патоковий сироп з температурою 85...95 °С і збивали ще 1 хв.

Після одержання досліджуваних зразків зефірної маси визначали вплив інкапсульованих мікроорганізмів і лактулози на структурно-механічні

властивості збивних мас, які характеризували за такими показниками: ефективна в'язкість, гранична напруга зсуву, адгезійна міцність.

За Ребиндером піноподібні маси належать до структурованих систем, які мають механічні властивості. Піна як дисперсна система набуває властивості твердого тіла: зберігає власну форму, володіє модулем зсуву, пружністю. До найбільш важливих реологічних характеристик піни відносять граничну напругу зсуву і в'язкість піни. Ефективна в'язкість є характеристикою рівноважного стану між процесами руйнування і відновлення. Зміна її викликає зміну коагуляційно-кристалізаційної структури піни, тим самим впливає на якість маси. Досліджували залежність ефективної в'язкості зефірної маси від масової частки добавки та градієнта зсуву. Температура зразків склала 50 °С. Досліди проводилися на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2» зі зміною швидкості зсуву в межах $0,1667...13,5 \text{ c}^{-1}$. Результати дослідів оброблялися відповідно до керівництва до приладу.

Для піноподібних мас характерна особливість механічної поведінки при течії, а саме, псевдопластичність. Прояв псевдопластичності полягає у зменшенні ефективної в'язкості зі зростанням градієнта швидкості (рис. 1).

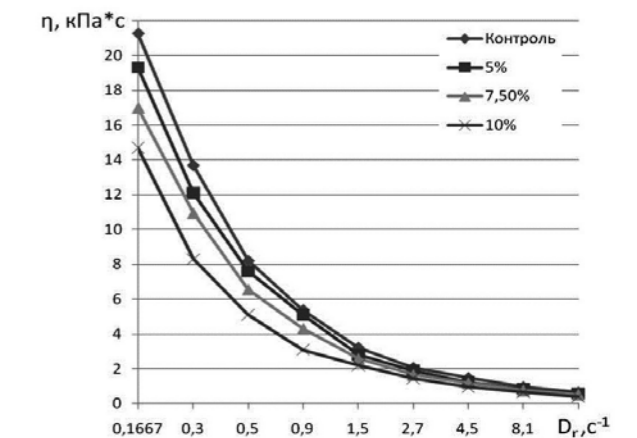


Рис. 1. Зміна ефективної в'язкості зефірної маси з різним вмістом лактулози: 1 – 0 %; 2 – 5 %; 3 – 7,5 %; 4 – 10 % і іммобілізованих біфідобактерій від швидкості зсуву

Із зростанням напруги зсуву бульбашки повітря перетворюються на еліпсоїди, що полегшує рух шарів маси і призводить до деякого зниження в'язкості. Потім криві мають ділянку плавного переходу до майже постійного рівня в'язкості. Для цих ділянок характерне поступово зростаюче число зруйнованих повітряних бульбашок. Горизонтальні ділянки кривих відповідають в'язкості маси з повністю зруйнованою структурою [14]. У зв'язку з цим впливає, що формування зефірної маси необхідно вести при таких швидкостях зсуву, коли структура маси не зруйнована. Максимальна швид-

кість руйнування, при якій можна отримати зефір хорошої якості, відповідає початку ділянки плавного переходу в область зруйнованої структури. У даному випадку ця швидкість становить $2,7 \text{ c}^{-1}$.

Так, із введенням комплексної добавки в зефірну масу ефективна в'язкість при швидкості зсуву $0,1667 \text{ c}^{-1}$ у контрольному зразку становила 21,26 кПа·с, а в зразках з іммобілізованими мікроорганізмами і з вмістом лактулози 5, 7,5 і 10 % відповідно – 19,3; 17,01 і 14,7 кПа·с. Введення в зефірну масу синбіотичної добавки призводить до зниження ефективної в'язкості. Зниження в'язкості зефірної маси, ймовірно, відбувається у зв'язку з тим, що в неї вводиться добавка мікроорганізмів у рідкому вигляді, тобто з високою вологістю, що призводить до розрідження маси і зменшення ефективної в'язкості.

Також досліджувався вплив добавок – лактулози з інкапсульованими мікроорганізмами – на міцність зефірної маси в залежності від часу структуроутворення, В.

Дослідження міцності зефірних мас проводили методом пенетрації – занурення конуса з кутом при вершині 60° з постійним зусиллям пенетрації в зефірні вироби в процесі вистоювання. Перший вимір проводили через 30 хв після відсадження зефірної маси.

Результати експериментальних даних граничного напруження зсуву зефірних мас, що містять різний вміст добавок, представлені на рис. 2.

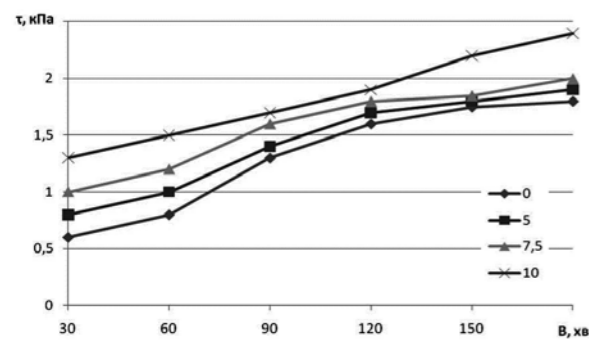


Рис. 2. Кінетика структуроутворення зефірних мас: 1 – контроль; 2 – 5 % лактулози і м.о.; 3 – 7,5 % лактулози і м.о.; 4 – 10 % лактулози і м.о.

Аналіз результатів пенетраційних досліджень показав, що відбувається динамічне структуроутворення, про що свідчить підвищення, стабілізація граничної напруги зсуву в часі.

З отриманих даних (рис. 2) видно, що збільшення вмісту масової частки синбіотичної добавки інтенсифікує кінетику формування кристалізаційно-коагуляційної структури зефіру. Так, міцність виробів без добавки через 30 хв становила 0,6 кПа, а для виробів, що містять 5; 7,5 і 10 % лактулози і пробіотичну добавку, становила відповідно 0,8; 1,0 і 1,3 кПа. Після 90 хв вистоювання міцність конт-

рольного зразка становила 1,3 кПа, а у зразків з 5 і 7,5 % лактулози така міцність виявлена через 75 хв і 70 хв відповідно. А зразок з додаванням 10 % лактулози таку міцність досягає через 30 хв. Тривалість структуроутворення скорочується для всіх зразків у порівнянні з контрольним на 20...60 хв. Підвищення міцності зефірних мас може бути пояснено тим, що в дослідних зразках частина цукру замінюється лактулозою. А, як відомо, цукор підвищує поверхневий натяг водних розчинів і, отже, ускладнює їх піноутворення. Тому в дослідних зразках покращується процес піноутворення і підвищується стійкість піни. При цьому підвищується міцність утвореної просторової структури зефірної маси. Також присутність яблучного пюре в розчині пектинових молекул і фруктози, яка входить до складу молекули лактулози, сприяє агрегуванню їх молекул і підвищенню міцності.

Також у роботі проведено дослідження впливу синбіотичної добавки на адгезійну міцність збивної маси. Адгезія належить до поверхневих явищ і визначає зв'язок харчових мас із поверхнями технологічного обладнання і виступає як відповідне явище по відношенню практично до всіх харчових мас.

Величина адгезії залежить не лише від фізичних властивостей маси, але й від огорожувальної поверхні, її природи, чистоти обробки, часу контакту з огорожувальною поверхнею, масової частки добавки.

Досліди проводили на адгезіометрі, заснованому на методі відриву пластини, виготовленої з того чи іншого конструкційного матеріалу, від харчової маси. Для експериментів використовувалася пластина з прогумованою поверхнею. Температура адгезиву і субстрату становила $20 \pm 2^\circ \text{C}$, тривалість контакту – 10 сек.

Досліджено залежність адгезійної напруги від часу вистоювання зразків з різною масовою часткою лактулози і пробіотиків (рис. 3).

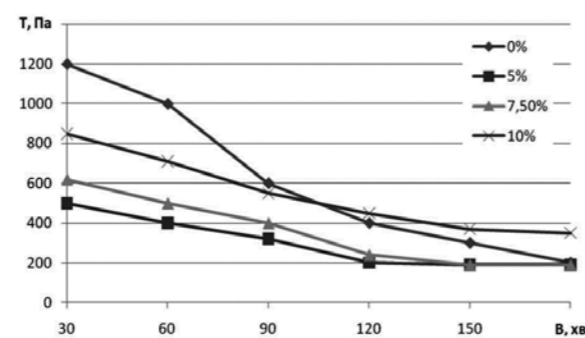


Рис. 3. Вплив масової частки добавки на адгезійну міцність зефірних мас: 1 – 0 %; 2 – 5 %; 3 – 7,5 %; 4 – 10 %

Адгезійні властивості всіх зразків з плином часу знижуються. Стабілізація адгезійних властивостей для мас із введенням синбіотичної добавки

відбувається через 120 хв, тоді як для контрольного зразка для утворення студня необхідно 150 хв. Синбіотична добавка сприяє більш швидкому утворенню міцної піноподібної структури виробів, що, очевидно, приведе до скорочення технологічного процесу виробництва зефіру, зокрема тривалості вистоювання виробів.

З рецептурних компонентів, що впливають на структуроутворення маси, особливий вплив мають пектинові речовини яблучного пюре. Чим менша концентрація пектину і вища його драглеутворювальна здатність, тим повільніший процес вистоювання. Також скорочення процесу структуроутворення у дослідних зразках, ймовірно, пов'язане з наявністю у складі лактулози кальцію та іонів інших металів, які сприяють взаємодії пектинових кислот між собою за рахунок вільних карбоксиль-

них груп, що пов'язуються катіонами в міцний каркас.

Висновки

Таким чином, внесення іммобілізованих пробіотичних бактерій і лактулози в рецептуру зефіру не тільки покращує реологічні властивості зефірної маси, але й дозволяє розширити асортимент пастильно-мармеладних виробів і створити продукт функціонального призначення, що сприятиме оздоровленню населення.

На підставі проведених досліджень були зроблені проект нормативно-технічної документації, технологічна схема та отримані результати *in vivo* про антидисбіотичні властивості нового виду зефіру.

Список літератури:

1. Цапок П. И. Применение бифидосодержащих кисломолочных продуктов при нарушении эндемикоциеноза у детей / П. И. Цапок, А. И. Смирнова, Е. П. Колеватых и др. // Известия вузов. Пищевая технология. – 2004. – № 1. – С. 76–77.
2. Riemelt J., Bartel B., Malczam M. Milchwirtschaftliche Mikrobiologie. В. Behr's Verlag GmbH & Co. – 401 s.
3. Артюхова С. И. Изучение природной устойчивости микроорганизмов поликомпонентной закваски молочных продуктов к антибиотикам / С. И. Артюхова, Е. А. Молибога. // Вопросы питания. – 2005. – № 6. – С. 34–36.
4. Gibson G.R., Macfarlane G.T. (eds) Human colonic bacteria: role in nutrition, physiology and pathology // CRC Press. – 1995. – P. 1–18.
5. Husebye E., Hellstrom R., Midtvedt T. The role of normal microbial flora in control of small intestine motility // Microbiol. Therapy. – 1990. – Vol. 20. – 389–394.
6. Крючкова В. В. Пребиотики в функциональных кисломолочных продуктах / В. В. Крючкова // Молочная промышленность. – 2009. – № 7. – С. 34–36.
7. Cummings J.H., Roberfroid M.B., Anderson H. A new look at dietary carbohydrate: physiology and health / Eur. J. Clin. Nutr. 1997. Vol 51/ – P. 417–423.
8. Van Laere K.M. J., Schols H. A., Voragen A. G. J. The influence of the chemical structure of oligosaccharides on the fermentability by intestinal bacteria // Med. Fec. Landbouww. Univ. Gent. 1997. Vol. 62. №4. – P. 1297–1303.
9. Ozelic M.F., Pekmezci S., Altinli E. et al. Lactulose to prevent bacterial translocation in biliary obstruction // Dig. Surg. – 1997. – 14. – 267–271.
10. Ballongue J., Shuman C. & Quignon P. Effekt of Lactulose and Lactitol on Colonic and Enzymatic Activity. Universite de Nancy, Vandoeuvre les Nancy, France, and International Lactulose Application Committee, Zurich, Switzerland. 1997, 32 Suppl.222: 41–44.
11. Коркач А.В. Обоснование метода иммобилизации микроорганизмов и их применение в технологии кондитерских изделий / А. В. Коркач, Г. В. Крусир, А. В. Егорова // Пищевая наука и технология. – 2013. – № 1 (22). – С. 35–38.
12. Liserre A. M. Microencapsulation of *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions / A. M.Liserre, Maria Ines Re, Bernandette D. G.M. Franko // Food Biotechnology, 2007. – Vol. 21. – № 1. – P. 1–16.
13. Зубченко А. В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2001. – 389 с.
14. Мачихин Ю. А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.